

# ホップフィールドモデルを用いた学生の 岩石の分類に関する研究

松 原 道 男

A Study on Students' Classification of the Rock by Using Hopfield Model

Michio MATSUBARA

## はじめに

自然から得る情報の解釈は、学習者のもつ概念フレームワークによって異なってくる。そして、学習者のもつ概念フレームワークを明らかにすることは、学習者の概念変容や学習者の考えに対応した教材の開発、学習展開を考えるうえで重要となる<sup>(1)</sup>。概念の一般的定義では、外延と内包でいわれるように、その境界が明確である。情報処理においても、概念を系統樹のような明確に定義した構造で示すことが多かった<sup>(2)</sup>。

しかし、実際の人間の概念に関する情報処理は、カテゴリーの相互の境界があいまいで、しかも文脈に依存する場合が多い。日常生活における自然カテゴリーは、カテゴリーの原形（プロトタイプ）があり、それからのずれで分類が行われていることも考えられる。とくに、自然認識において、意味的な分類より知覚属性に基づく分類では、このような処理が行われやすいと考えられる<sup>(3)</sup>。

以上のことから、概念に関する情報処理は、明確な定義に基づき、それに当てはまるかどうかといった論理的な単線型の処理だけではなく、あいまいな定義のもとで、全体的な並列型の処理が行われていることがあると考えられる。その処理は、ニューラルネットワークのモデルで示される処理に近いと考えられる<sup>(4)</sup>。ニューラルネットワークによる処理は、ネットワークの構造全体で知識を表現するもので、その

特徴として、パターン処理や状況に応じた認識などの表現が容易なことがあげられる。とくに、ニューラルネットワークの中でもホップフィールドモデルは、概念とかがわりの深いスキーマを表現できることが示されており、連想記憶に関するモデルが示されている<sup>(5)</sup>。

ところが、これまでの研究は、日常生活におけるスキーマを表現したもので、自然認識に関するスキーマの表現や、自然を対象とした理科学習への応用は行われていない。したがって、ニューラルネットワークのモデルによる自然を対象とした概念表現の可能性を探っていくことは、今後、学習者の概念フレームワークに基づく理科学習を考えるうえで意義があると考えられる。

## I 研究の目的

以上のことから、本研究では、ホップフィールドモデルを用いて、自然を対象とした概念表現の可能性を明らかにするとともに、そのモデルの理科学習への利用について明らかにすることを目的とした。特に、教材として岩石の分類に関するものを取りあげた。岩石の分類に関するこれまでの研究は、一つひとつの岩石の特徴をあげさせ、どのような観点で岩石をとらえているかを明らかにした研究があげられる<sup>(6)(7)</sup>。また、学習後の中学生や大学生は、科学的な観点をを用いるようになるが、その用い方は専門家とは異なっており、大学生においても岩石名の特定は困難であると考えられる<sup>(8)</sup>。

したがって、大学生においても、とくに岩石を専門としていなければ、岩石の分類は、知覚的、状況的に行われることが予想される。つまり、以下のような分類の特徴があると考えられる。

- ①岩石を知覚的な特徴から分類する。
- ②絶対的基準より、与えられた岩石の文脈の中で分類を行う。
- ③ある岩石を基準にして、それとのずれによって分類を行う。

そこで、岩石の分類の調査においては、知覚的属性を用いて、ある一つの文脈の中で分類を行わせることを計画した。そして、ホップフィールドモデルの作成およびモデルの妥当性についての検証は、次のように考えた。まず、岩石のある集合の中からいくつか岩石を選び、それらの岩石の類似性を指摘させる。この指摘とともに、岩石の類似性を表現するホップフィールドモデルを作成する。次に、このモデルによって岩石の集合全体の類似性を予測する。そして、学生に岩石の集合全体の類似性について指摘させる。最後に、モデルによる予測結果と実際の学生の指摘結果との一致度を求める。

## II 調査

### 1. 調査問題

調査は、調査1と調査2よりなり、一人ひとり面接を行うようにして実施した。調査1は、岩石の集合の中から一部の岩石を選び、その岩石の類似性について指摘させる調査である。調査2は、岩石の集合全体から、ある岩石と類似した岩石を指摘させる調査である。調査は、調査1を行った後、引き続き調査2を行った。

#### (1) 調査1

調査1は、図1に示した6つの火成岩（一部の写真）の中から3つを組み合わせ問題を作成した。問題は6つの岩石の中から3つを選ぶすべての組み合わせを考え、計20問とした。各問題は、図2に示したように3つの岩石の中で、どの2つの組み合わせがもっとも似ている

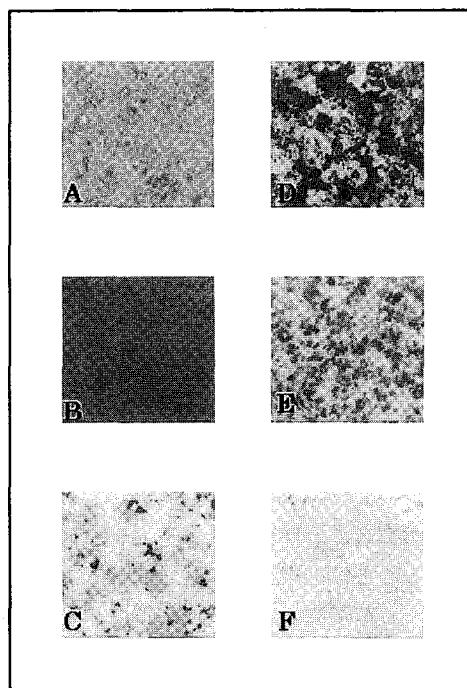


図1 調査で用いた6つの岩石

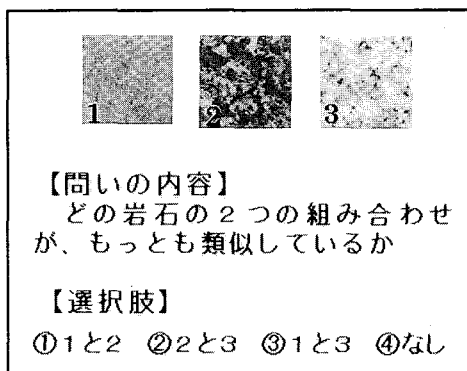


図2 調査1の問題内容

組み合わせかを問う問題である。回答では、どの組み合わせが類似しているか①～④の選択肢を選ばせた。どの組み合わせも似ていない場合は、選択肢④の「なし」を選ばせた。回答用紙は1枚で、問題は1ページ1問になるように冊子にし、前後の問題が見えないようにした。また、各問題および岩石の配列はランダムにした。なお、A～Fの各岩石は、次の岩石である。

A：安山岩 B：玄武岩 C：花こう岩

D：はんれい岩 E：閃緑岩 F：流紋岩

## (2) 調査2

調査2は、図1に示した6つの岩石のAからFについて、まず、「F」の岩石に注目させ、Fの岩石に似ていると思う岩石の記号を書かせた。その際、いくつあげてもよいこと、また、似ている岩石がいくつかある場合は、必ず似ていると思う順番に記号を書くこと、ない場合は「なし」と書くようにさせた。次に、「D」の岩石に注目させ、同様のことを行わせた。

## 2. 調査対象および調査時期

調査対象は、金沢大学教育学部の理科関係の教室に所属する3年生と4年生、男子6人、女子4人、計10人である。とくに岩石について専門的な研究をしていない学生である。調査時期は、1998年5月である。

## 3. 調査結果

調査1および調査2の反応度数を示したのが表1、表2である。表1において、選択肢への反応度数が過半数である5人以上を網掛けにして示した。20問中、17問は、選択度数が5以上の選択肢が存在する。したがって、学生には共通したとらえ方がみられることがわかる。次に、表2より、岩石Fに類似した岩石として、岩石Bをあげている学生が9人、そのうちで岩石Aも加えている学生が2人、類似した岩石がないと回答した学生が1人である。また、岩石Dに類似した岩石として、岩石Eをあげた学生が9人、そのうちで岩石Cも加えている学生が4人、岩石Cのみが類似しているとした学生は1人である。以上のように、学生の分類にかなりの一致が見られた。

## Ⅲ モデルの作成および分析方法

### 1. モデルの作成

#### (1) モデルの基本理論

モデルは、相互結合型のニューラルネットワ

表1 調査1の選択肢への反応度数（人）

問題	選 択 肢			
	①	②	③	④
問1	1	0	9	0
問2	1	6	3	0
問3	0	7	1	2
問4	0	6	2	2
問5	8	1	0	1
問6	1	0	9	0
問7	7	0	1	2
問8	1	0	9	0
問9	6	0	3	1
問10	0	0	8	2
問11	2	1	4	3
問12	0	0	6	4
問13	0	0	10	0
問14	0	3	6	1
問15	0	3	5	2
問16	0	0	8	2
問17	4	4	0	2
問18	1	1	8	0
問19	0	9	1	0
問20	0	1	6	3

表2 調査2で学生が選んだ岩石

学生	Fに類似	Dに類似
S1	B	E
S2	B	C
S3		E
S4	B	E
S5	B A	E C
S6	B	E C
S7	B	E
S8	B	E C
S9	B	E
S10	B A	E C

ークであるホップフィールドモデルにより作成する。ホップフィールドモデルは、すべての細胞が相互に連結した構造を持つ。本研究の場合、6つの岩石を6つの細胞で示し、図3にしたような連結で表現することを考えた。各連結

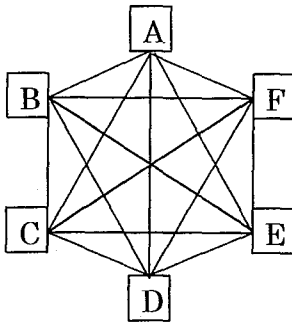


図3 ホップフィールドモデル

はそれぞれ異なった荷重 ( $w$ ) がかかり、連結の強さが異なっている。各細胞からの出力値 ( $u$ ) に、この荷重がかかるが、荷重は、細胞  $i$  から細胞  $j$  の方向と細胞  $j$  から細胞  $i$  の方向で同じ値であると考え ( $w_{ij} = w_{ji}$ )。このモデルは、次のように状態が変化する。まず、ある細胞  $j$  への入力値 ( $S_j$ ) を次式によって求める。

$$S_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n u_i w_{ji}$$

このようにして求めた  $S_j$  について、次に示す2つの処理がある。

①処理 A:  $S_j \geq 0$  なら  $u_j = 1$ ,  $S_j < 0$  なら  $u_j = 0$  に更新する。

②処理 B:  $u_j = 1 / (1 + \exp(- (S_j - \theta)))$

処理 A は  $S_j$  が 0 から 1 の 2 値のモデルであるが、処理 B はシグモイド関数であり、 $S_j$  が 0 から 1 の間の連続値をとる。 $\theta$  はしきい値である。ホップフィールドモデルでは、どちらでもうまく処理できるとされている。本研究では、各学生について、処理 A による「モデル A」と、処理 B による「モデル B」の両方を作成することにした。

モデルの状態変化は、変化が起これなくなるまで続けられる。このような状態変化によって表現されることは、たとえば、連想記憶についてのモデルとして説明される。すなわち、ネットワークの初期の状態で表現されたものから、すぐにいける記憶に収束することを表現している。本研究の場合は、ある岩石に注目したとき、

その岩石に類似した岩石に到達するモデルになると考えられる。

## (2) モデルの荷重

荷重は、本研究の場合、次式のように考えた。

$$W_{ji} = \sum_{p=1}^m 2 a_{pj} \cdot a_{pi} - 1$$

( $a$ : その岩石を選択すれば 1, 選択しなければ 0)

つまり、調査 1 において、3 つの岩石が組み合わせられているが、ある 2 つの岩石が組み合わせられるのは 4 回である。その中で、その 2 つが類似していると選択されれば 1 を加算し、それ以外は -1 が加算される。したがって、荷重がもっとも大きい場合は 4 であり、もっとも小さい場合は -4 である。このようにして求めた各学生の荷重を表 3 に示した。荷重が大きければその岩石どうし類似しており、荷重が小さければ、その岩石どうしは類似していないという関係になる。

表3 各学生のモデルの荷重

組合 わせ	学 生									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
A-B	-4	-4	-2	-2	-4	-2	0	-4	-2	2
A-C	0	0	-2	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2
A-D	-2	0	0	0	-4	-4	-4	-2	-4	-4
A-E	2	0	0	2	-4	-2	-2	-2	0	-2
A-F	-4	-4	-4	-4	-2	2	-2	-4	0	-2
B-C	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4
B-D	-4	-4	-4	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4
B-E	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
B-F	2	4	-4	4	4	4	-4	0	4	4
C-D	0	4	2	-4	0	0	0	2	-2	2
C-E	0	2	0	-4	2	4	4	2	0	2
C-F	-4	-4	-4	0	-4	-2	-2	-4	-4	-4
D-E	4	2	4	0	2	2	2	2	4	4
D-F	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-2	-4	-4
E-F	-4	-4	-4	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4

## 2. モデルによる分析

以上のようにして求めた荷重から、学生一人ひとりについてモデルを作成した。岩石 F に着目した場合、岩石 F に対応した細胞の出力

値を1に固定し、モデルの状態を変化させた。なお、モデルBにおいて、しきい値 $\theta$ はすべて0にした。同様のことを岩石Dについても行った。モデルを状態変化させた出力結果は、6つの岩石の中から岩石Fに類似しているものを選ぶ結果と考えられる。選ばれる岩石は、モデルAの場合は出力値が1になり、モデルBの場合は、1に近い値になる。一方、選ばれない岩石は、モデルAの場合は出力値が0に

なり、モデルBの場合は、0に近い値になる。この出力結果と、実際に学生が類似しているとして選んだ岩石との一致を分析した。

#### IV モデルによる分析結果および考察

実際に学生が選んだ岩石、およびモデルAとモデルBの出力結果を表4に示した。表4では、学生が選んだ岩石を数値1で示した。また、学生が選んだ岩石とモデルの出力値が一致

表4 調査2の回答結果とモデルの出力結果  
(出力結果A：モデルAによる出力結果, 出力結果B：による出力結果)

学生	学生の回答と モデルの結果	Fに類似						Dに類似					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
S1	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果B	0	0.88	0	0	0	1	0.5	0	0.5	1	0.99	0
S2	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0	0.98	0	0	0	1	0.5	0	1	1	0.98	0
S3	学生の回答	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果A	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	1	0.16	0	0.84	1	0.98	0
S4	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	出力結果B	0	0.98	0.5	0	0	1	0.84	0	0	1	0.84	0
S5	学生の回答	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0	0.98	0	0	0	1	0	0	0.88	1	0.98	0
S6	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0.52	0.95	0	0	0	1	0	0	0.98	1	1	0
S7	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果A	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0.09	0.01	0.11	0.01	0.02	1	0	0	0.98	1	1	0
S8	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果A	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0	0.47	0	0.02	0	1	0	0	0.98	1	0.98	0
S9	学生の回答	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	出力結果B	0.12	0.98	0	0	0	1	0.01	0	0.12	1	0.98	0
S10	学生の回答	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果A	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
	出力結果B	0.5	0.99	0	0	0	1	0	0	0.98	1	1	0

していない部分を網掛けで示した。

まず、岩石 F について、学生の回答結果とモデルの出力結果の一致については、次のような結果が得られた。学生 S7 については、岩石 B を選択していないが、モデルの出力結果では、選択するようになっている。この学生 S7 について、その他の岩石の選択の有無は一致している。また、学生 S7 以外の学生における回答結果とモデルの出力結果は、モデル A、モデル B とともに一致している。したがって、10人の学生における岩石 F 以外の5つの岩石の選択結果とモデルの出力結果の一致度は、両モデルとも49/50である。同様に、Dの岩石については、モデル A、モデル B では学生の回答結果とモデルの出力結果が一致しているところが若干異なるが、全体としては、両モデルとも一致度は46/50である。したがって、各モデルとも95%以上の一致度を認めることができる。この結果より、次のようなことが指摘できる。

出力値が連続値であるモデル A と出力値が不連続値であるモデル B との間には、学生の回答を予想するうえで、差は認められない。そして、両モデルは、学生の回答結果とほぼ一致しており、学生の回答を予測することができると考えられる。したがって、本研究におけるホップフィールドモデルは、学生の岩石の分類についての概念モデルを示しているといえる。

以上のようなモデルの妥当性およびモデルの特性から、理科学習におけるモデルの利用について、次のようなことが考えられる。すなわち、モデルからは、学習者の岩石の類似性について予測することができる。つまり、ある岩石を提示したとき、それに類似すると考える岩石を予測することができる。したがって、科学的分類と学習者の分類との違いをあらかじめとらえられるため、学習者の認識に対応した科学的分類の観点の形成へ役立てていけると考えられる。たとえば、類似性を指摘すると考えられる岩石について、その類似点を指摘させながら、一方では、科学的観点から類似している岩石を提示

し、その類似性を考察させる。このように、学生自身の観点と科学的観点との違いを比較させ、科学的観点の形成を支援していくことが考えられる。

本研究の調査結果から、大学生は岩石についての学習を行っており、ある一定の共通した観点が形成されていることが考えられた。したがって、今後の課題として、学習が進んでいない小学生や中学生においても、ホップフィールドモデルでの表現が妥当かどうか検証する必要があるといえる。また、モデルの活用について、学習者の分類について予測できる可能性が高いことから、今後、岩石についての課題の設定や、教材の提示方法、学習評価への応用について探っていくことが考えられる。

#### 参考文献

- (1) 武村重和編：「理科学習の心理学」，東洋館，77-100，1993
- (2) Bobrow, D.G. & Collin, A. , 淵一博監訳：「人工知能の基礎—知識の表現と理解」，近代科学社，219-250，1978
- (3) 小谷津孝明編：「認知心理学講座2 記憶と知識」，東京大学出版会，59-69，1985
- (4) 菊池豊彦：「入門ニューロコンピュータ」，オーム社，1-15，1990
- (5) Rumelhart, D.E. 他，甘利俊一監訳：「PDPモデル」，産業図書，367-419，1988。
- (6) 石川正・関利一郎：「岩石の観察能力に関する調査」，日本理科教育学会研究紀要，Vol. 22, No. 2, 35-44, 1981
- (7) 加藤尚裕・荒井豊：「石・砂・土の観察能力の調査に関する一考察」，日本理科教育学会研究紀要，Vol. 26, No. 2, 69-78, 1985
- (8) 松原道男：「理科における学習者の知識構造に関する研究（2）—ニューラルネットワークを用いた岩石の分類に関する表現方法—」，日本理科教育学会研究紀要，Vol. 32, No. 3, 31-37, 1992